

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-68555

(P2000-68555A)

(43) 公開日 平成12年3月3日 (2000.3.3)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

キーワード (参考)

C 5 F 0 4 1

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平10-232553

(22) 出願日 平成10年8月19日 (1998.8.19)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 後藤 順

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 河田 雅彦

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明システム

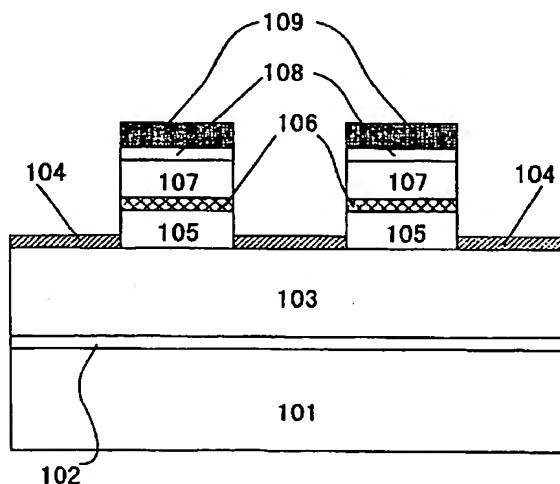
(57) 【要約】

【課題】 窒化ガリウム系半導体を用いた省エネルギーの白色照明を実現すること。

【解決手段】 選択成長による結晶成長により、LEDが形成される基板上に組成波長の異なる複数の発光領域を形成する。そして、当該発光領域を構成するに好適な材料として、小さな組成変化で禁制帯幅が大きく変わる  $Ga_{1-x_1-x_2}As_{x_1}Sb_{x_2}$  ( $0 \leq x_1, x_2 \leq 1$ ) 等の混晶半導体を用いる。

【効果】 上記構成を組み合わせることにより、成長面内の任意の箇所の発光波長を赤色から青色まで自由に制御することが可能となり、良質な白色光源を得ることが可能となる。

図1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】選択成長を用い単一素子内で少なくとも2種類以上の波長の光を発光する領域を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を用いた照明システム。

【請求項2】上記発光領域は、 $Al_{x_1}Ga_{1-(x_1+x_2)}In_{x_2}N_{1-(y_1+y_2+y_3)}As_{y_1}P_{y_2}Sb_{y_3}$  ( $0 \leq x_1, x_2, y_1, y_2, y_3 \leq 1$ ) なる混晶半導体で形成されることを特徴とする請求項1に記載の照明システム。

【請求項3】上記発光領域は、 $GaAs_{y_1}N_{1-y_1}$  ( $0 < y_1 \leq 1$ ) 又は  $GaSb_{y_3}N_{1-y_3}$  ( $0 < y_3 \leq 1$ ) からなる第1層と  $GaN$  からなる第2層とで形成されることを特徴とする請求項1に記載の照明システム。

【請求項4】上記発光領域は、p型とn型の窒化ガリウム系半導体層間に挿入されることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の照明システム。

【請求項5】上記窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、発光波長の異なる3種類以上の発光領域を有し、該発光領域の少なくとも一は赤色の波長帯域に、他の少なくとも一は緑色の波長帯域に、残りの少なくとも一は青色の波長帯域に夫々対応する波長組成を有することを特徴とする請求項1乃至4に記載の照明システム。

【請求項6】上記各発光波長に対応した発光領域の発光強度を、これらからの光の合波が白色光になるように調節するように構成したことを特徴とする請求項5に記載の照明システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は照明装置に係り、その光源として窒化ガリウムに代表される窒素を構成元素に含むIII-V族化合物半導体を用いた発光ダイオード又はレーザダイオードなどの半導体光デバイスを用いた照明装置又は照明システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、屋内外の照明装置として白熱球や蛍光灯などの熱や電子線を光に変換する方式が利用されてきた。

【0003】一方、近年窒化ガリウム系化合物半導体を用いた長寿命且つ高輝度の青色光 ( $\sim 2.6\text{eV}$ ) 及び緑色光 (c.a.  $2.6 \sim 2.4\text{eV}$ ) の発光ダイオードが既に実用化され、さらに、青色LED (Light Emitting Diode: 発光ダイオード) で蛍光体を励起し、白色光を発するLEDも発表された。上記窒化ガリウム系化合物半導体とは、構成元素として少なくとも窒素を含むIII-V族化合物半導体のことを総称するもので、青紫色の発光波長に相当するワイド・バンドギャップの  $InGaN$  等がこの範疇に含まれる。このような窒化ガリウム系化合物からなる半導体発光素子から発生される (他種の半導体発光素子に比べて) エネルギーの高い (波長の短い) 光を蛍光物質に照射させ、白色光を得る技術 (以下、白色LEDと

呼ぶ) は、例えば、特開平5-152609号公報、特開平7-99345号公報、並びに特開平10-190066号公報に記載されている。

【0004】上述した窒化ガリウム系化合物半導体からなる発光素子 (LED等) はエネルギー変換効率が従来のLEDに比べて高いため、消費電力を抑制することが可能である。また、このLEDを照明装置や表示装置といったシステムに応用することにより、当該システム自体の小型軽量化が容易であることから、特に上述の窒化ガリウム系化合物半導体からなる光デバイスを応用したシステムは、次世代の省エネルギー照明装置として注目されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、現在上述の白色LEDは、青色光で蛍光体を励起するためのエネルギー変換工程において、損失 (変換ロス) が生じることや、発光強度により発色が変わることが問題となっている。例えば、特開平10-190066号公報では、青色系LEDからの光が照射される蛍光体を保持する合成樹脂の基体が、上記蛍光体から発する白色光を減衰させる問題について言及されている。即ち、蛍光体に照射されるLED光が青緑色から紫色へと短波長 ( $\lambda = 500 \sim 400\text{nm}$ ) 側にシフトすると、その分上記基体の材料たる合成樹脂に吸収され易くなり、上記蛍光体へのLED光供給が減少する。また、当該合成樹脂もLED光を吸収することにより着色されるため、当該蛍光体から発せられる白色光をより多く吸収してしまうのである。

【0006】一方、上記白色LEDに代えて、既存の青、緑、赤のLEDを並べて配置し、夫々からの光を合わせることで白色光を得る方式は、生産コスト抑制やプロセスの簡略化、さらには発光の色むらの抑止がままならないという問題があった。色むら (青みや赤みが強くなるという) の問題は、波長の異なるLEDに供給する電流を夫々のLEDからの発光強度に合わせて調整すれば、理論的には抑止できるが、照明装置や表示装置 (例えば、液晶ディスプレイのバックライト) に適用するには問題がある。即ち、発光強度をモニタする受光素子を設けると、これにより照明や表示に提供せんとする光の強度を損なうため、省エネルギーにして高輝度というLED光源ならではの利点を損ねてしまうのである。

【0007】本発明の目的は、白色光を発生するに好適な波長の異なる複数の発光領域を有し、これらを安定に駆動し得る照明装置又は表示装置 (以下、「照明システム」と総称する) を提供することにある。また、本発明の更なる目的は、このような照明システムを簡素なプロセスで再現性よく生産するに好適なシステム構成を提供することにある。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上述の目的に対し、本発明では上述の窒化ガリウム系化合物半導体からなる発光

素子の発光領域を構成する半導体層の混晶組成を、その結晶成長時における成長領域毎に変化させることで、一発光素子内に白色光を発生するに好適な波長の異なる複数の発光領域を形成し、これらの領域に並列に電流を注入するように構成する。

【0009】シリコン酸化膜やシリコン窒化膜等のアモルファス膜をマスクとした選択成長において、当該マスクに設けられた間隙（マスクから結晶成長基体が露出した部分）におけるIII-V族化合物半導体の結晶成長速度は、この間隙の幅やその両側に形成されたマスクの幅に依存する。殊に、III族元素又はV族元素の少なくとも一方が複数の種類を含む混晶半導体の場合、この成長速度の相違が元素ごとの組成比に反映される。例えば、II-VI族元素としてInとGaを含むInGaNで発光領域を形成する場合、同じ間隙幅においても、その両側のマスク幅を狭めるにつれてGaの組成比は高まり、発光波長も短波長側にシフトする。このため、発光素子を形成せんとする基体上に、幅又は間隔の異なるストライプ状の間隙を有するマスクを形成し、その後、当該マスク上に窒化ガリウム系化合物半導体の混晶からなる発光領域を含めたIII-V族化合物半導体結晶を成長させることにより、基体上に発光波長の異なる複数の発光領域が再現性良く形成できるのである。

【0010】発光領域を窒素を含むIII-V族化合物の混晶半導体とすることで、複数の発光領域から自然放出される光を合波させて、所謂白色光にし易くなる。その理由は、夫々の発光領域に赤色、緑色、及び青色という白色光を構成するに望ましい波長成分を分配し易くなるからである。そして、上述のIII-V族化合物の混晶半導体からなる発光領域は、V族元素として窒素を50%以上含むものが望ましい。即ち、InGaAs等のIII-V族化合物混晶半導体に5%程度の窒素を添加した半導体では、ボウイング（Bowing）現象により発光波長が赤外領域へとシフトし、上述の波長配分が困難となるからである。

【0011】以上の如く構成される本発明の照明システムを、発光領域の形成方法から更に詳述すると次のとおりである。上述のように結晶成長領域周辺のマスク（選択成長マスク）の幅を基体上に於いて局所的に変えて形成し、これに結晶成長の原料ガス（トリメチルガリウム、アルシン、アンモニア等）を供給すると、当該基体面内に存在する異なる幅のマスクに挟まれた各結晶成長領域には、一定の、換言すれば同じ量の原料ガスが供給される。しかしながら、夫々の結晶成長領域に堆積するIII族元素又はV族元素の配分は、各々を挟むマスクの幅に応じて再現性良く決まる。したがって、選択成長マスクのパターンを形成すれば、他のプロセス条件は特に変えずとも、基体面内に発光波長の異なる所望の発光領域を形成できるのである。

【0012】実用上、発光波長の異なる領域毎に選択成

長で形成する発光領域の面積差を少なくすることが望ましい。このような要請に対し、発光領域を構成する混晶半導体層のV族元素として窒素以外に砒素（As）やアンチモン（Sb）を含めることが推奨される。その理由は、これら窒素以外のV族元素の添加により、僅かなV族元素の組成変化で当該混晶半導体の禁制帯幅が大きく変化するからである。

【0013】窒化ガリウム系化合物半導体からなる発光層を六方晶系の結晶で形成する場合、基体としてサファイア（ $Al_2O_3$ ）を用い、p及びn側電極を基体と反対側（結晶成長面側）に設ける。この形状は、サファイアの導電性が極めて低いため既存の窒化ガリウム系化合物半導体の六方晶系結晶からなるLEDやレーザ・ダイオードで採用されているが、本発明における照明システムでは、この基体を発光面として利用できる利点がある。即ち、上述のとおり白色光を発生するには青色光を他の波長の光と同様に発光領域から取り出すことが重要となるが、サファイアの屈折率はIII-V族化合物半導体に比べて低いため、短波長の光に対しても吸収損失が小さくなるからである。

【0014】以上の議論に基づき、本発明者は次の構成の照明システムを提供する。

【0015】その第1は、選択成長を用い単一素子内で少なくとも2種類以上の波長の光を発光する領域を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を用いた照明システムである。

【0016】第2として、上記発光領域を $Al_{x_1}Ga_{1-(x_1+x_2)}In_{x_2}N_{1-(y_1+y_2+y_3)}As_{y_1}P_{y_2}Sb_{y_3}$ （ $0 \leq x_1, x_2, y_1, y_2, y_3 \leq 1$ ）なる混晶半導体で形成してなる構成を推奨する。上述の議論では、ボウイング現象回避するためにNの組成比を0.5以上とすることを推奨したが、組み合わせられる他のV族元素又は、III族元素の組み合わせでNの組成比が0.5未満でも実用に耐える発光領域を実現できる場合はその限りでないものである。

【0017】第3として、上記発光領域を $GaAs_{y_1}N_{1-y_1}$ （ $0 < y_1 \leq 1$ ）又は $GaSb_{y_3}N_{1-y_3}$ （ $0 < y_3 \leq 1$ ）からなる第1層とGaInからなる第2層で形成してなる構成を推奨する。

【0018】以上のいずれの構成において、上記発光領域をp型とn型の窒化ガリウム系半導体層間に挿入し、更に上記波長の異なる発光領域に電流を供給するp型並びにn型の電極層を上記窒化ガリウム系化合物半導体発光素子内で共有させ、各発光領域に並列に電流を供給するように構成することを推奨する。

【0019】また、上記第1乃至第3の構成からなる照明システムに含まれる上記窒化ガリウム系化合物半導体発光素子内に発光波長の異なる3種類以上の発光領域を形成し、この発光領域の少なくとも一は赤色の波長帯域に、少なくとも他の一は緑色の波長帯域に、少なくとも

残りの一は青色の波長帯域に夫々対応する波長組成を有するように構成することを推奨する。そして、この構成において各波長領域の発光強度をこれらの合波が白色光になるように調節するよう構成することが望ましい。

【0020】以上に列挙した本発明の照明システムの具体的な実施態様は、次の発明の実施の形態の欄において詳述されよう。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明の照明システムの具体的な実施の形態を、実施例1並びに2及びこれらの関連図面を参照して説明する。

【0022】＜実施例1＞本実施例では、図1並びに2を参照し、GaNA<sub>s</sub>-Ga<sub>n</sub>多重量子井戸構造からなる発光領域を有する白色光LEDで構成される照明システムに関して説明する。

【0023】本実施例の照明システムを構成する半導体発光素子の部分的な断面を図1に、その表面（基体上に成長された窒化ガリウム系化合物半導体の積層構造の上面）を図2に示す。図1において、六方晶構造を有するサファイア（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）の単結晶基板101のc面（0001）面に上にアモルファスのAlNバッファ層102（厚さ：d=5nm）、Si元素をドーブしたn型のGa<sub>n</sub>N層103（ドーバント濃度：n=1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>、d=3μm）が成長されている。

【0024】上記n-Ga<sub>n</sub>N層103の上面に間隙パターンを有するSiO<sub>2</sub>選択成長マスク104を形成した後、Si元素をドーブしたn型のGa<sub>n</sub>N層105（ドーバント濃度：n=5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>、d=0.5μm）、ノンドープのGaAs<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>（0<x<1）とGa<sub>n</sub>Nとを交互に積層してなる歪量子井戸活性層106（各膜厚5nmとして3周期積層）、Mg元素をドーブしたp型のGa<sub>n</sub>N層107（ドーバント濃度：p=5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>、d=0.5μm）、C元素をドーブしたp型のAlNのキャップ層108（ドーバント濃度：p=1×10<sup>19</sup>cm<sup>-3</sup>、d=0.2μm）を順次成長させた。このn-Ga<sub>n</sub>N層105からp-AlNキャップ層108迄が結晶成長される領域を制限する（離間する）SiO<sub>2</sub>マスク104の長さが上記歪量子井戸活性層の井戸層（禁制帯幅の狭い層）を構成するGaAs<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>のAs組成（x）を決めるのである。そして、p-AlNキャップ層108上には金属又は合金からなるp側電極層109が形成される。

【0025】一方、図1のような断面構造を有し且つ発光波長の異なる3種類の発光素子を同一のサファイア基板上に形成した白色LEDの上面図を示したものが図2である。図1に示されるサファイア基板上部に間隙パターンを設けて構成されたSiO<sub>2</sub>マスク104は、図2にて参照番号201として示され、その間隙パターン（p側電極203として表示）を隔てるSiO<sub>2</sub>選択成長マスク201の幅は、赤色発光領域204、緑色発光領域205、青色発光領域207の夫々にて異なる。

【0026】各波長領域204,205,207の間隙パターンに成長した発光領域を含む半導体積層構造（図1の105~108）の間には図示せざるもポリイミド等の絶縁材料又は高抵抗の半導体領域が形成され、実用上p側電極は上記半導体積層構造及びその間隙に形成される絶縁又は高抵抗の領域上を覆うように形成される。一方、n側電極202は、SiO<sub>2</sub>選択成長マスク201に設けられた別の間隙から露出する上記n-Ga<sub>n</sub>N層103の上面に形成される。このような電極構成により、各波長領域204,205,207に形成される発光領域は、p側電極とn側電極との間に並列に配置される（この形状は、実施例2にて図3を参照して後述される）。

【0027】図1に示すサファイア単結晶基板101のc面上へのAlNバッファ層102からp-AlNキャップ層108に至る半導体結晶層の成長は有機金属気相成長装置を用いて行った（MOCVD法による結晶成長）。原料には、TMGa（トリメチルガリウム）、TMA1（トリメチルアルミニウム）、AsH<sub>3</sub>、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、及びCp<sub>2</sub>Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用いた。成長温度は、アモルファスAlNバッファ102は8000°C、GaAs<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>-Ga<sub>n</sub>N歪量子井戸活性層106は800°C、その他の層は1050°Cとした。

【0028】まず、Si元素をドーブしてなるn型Ga<sub>n</sub>N層103まで成長した後、試料全面（n型Ga<sub>n</sub>N層103上面全域）にSiO<sub>2</sub>膜104,201を堆積し、その結晶成長（予定）領域に幅20μmの目抜き部（図2のp側電極203に相当）を形成し、その間隔を赤色領域204、緑色領域205、青色領域207に対し、各々100、50、30μmとなるようにストライプを形成した。その後、Siドーブのn型Ga<sub>n</sub>N層105からCドーブのp型AlN層108まで成長を行った。ここで、ノンドープの（少なくとも人為的にドーバントが導入されない）GaAs<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>-Ga<sub>n</sub>N歪量子井戸活性層106の成長において、As組成（x）は青色発光領域207でx=0.03となるようにMOCVD成長におけるAsH<sub>3</sub>の流量を調整した。その結果、上記歪量子井戸活性層106のGaAs<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>井戸層のAs組成（x）は、緑色領域205でx=0.06、赤色領域204でx=0.08となった。続いて、n型電極202、p型電極109、203を形成した。

【0029】この発光素子に6Vで30mAの電流を流したところ、30lm（30ルーメン）の白色発光が得られた。

【0030】＜実施例2＞本実施例では、実施例1にて作製された発光素子を16個、図3に示すように四行四列に配列させ、各々のp型電極（「く」の字型に形成）301とn型電極302を配線して各素子を直列に接続した1組の発光素子（アレイ）を構成した。そして、この発光素子（アレイ）401を図4に示す如くパッケージ内に6個収納し、当該パッケージに設けられた電極端子402,403間において上記発光素子（アレイ）401を並列に電氣的

に接続して照明装置を構成した。

【0031】この照明装置の電極端子402、403間に100Vの電圧を印加したところ、180mAの電流に値に対し、2900lm（2900ルーメン）の白色発光が得られた。これは、本発明による照明システム（照明装置）が40Wの蛍光灯と同等以上の輝度の白色光をその半以下の消費電流で実現し得ることを示すものである。また、上記パッケージの大きさも15mm×20mm（発光面）×5mm（厚み）迄小型化できることが確かめられ、本発明による照明装置が既存の照明装置のの輝度を損なうことなく、その著しいダウンサイジングを可能にすることも明らかとなった。

【0032】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のように選択成長を用い、窒化ガリウム系化合物半導体で白色LEDを作製することにより、省エネルギー、高輝度、省スペースで低コストの良質な白色照明が得られ、その産業上の利用価値は非常に大きい。

\*

\*【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1に記載の白色LEDの断面図である。

【図2】本発明の実施例1に記載の白色LEDの平面図である。

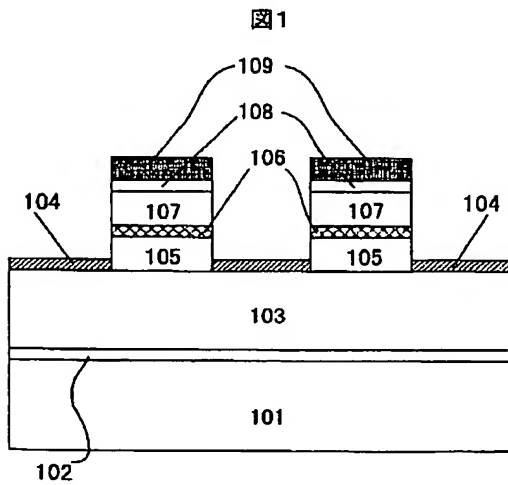
【図3】本発明の実施例2に記載の白色光源の素子の概念図である。

【図4】本発明の実施例2に記載の白色照明システムの概念図である。

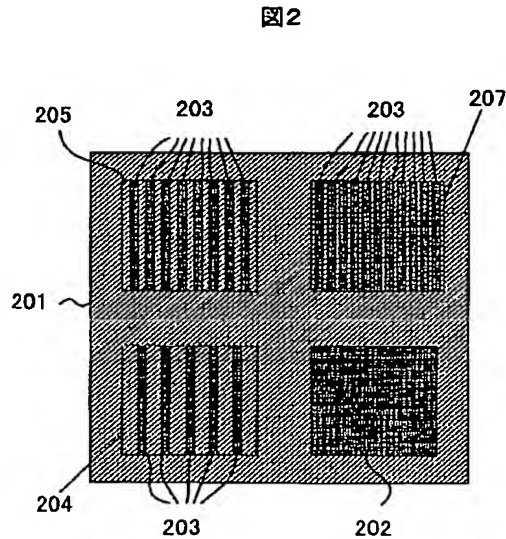
【符号の説明】

101…サファイア基板、102…アモルファスAlNバッファ層、103…Siドープn型GaN層、104…SiO<sub>2</sub>選択成長マスク、105…Siドープn型GaN層、106…ノンドープGaAs<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>-GaN歪量子井戸活性層、107…Mgドープp型GaN層、108…Cドープp型AlN層、109…p側電極、201…SiO<sub>2</sub>選択成長マスク、202…n側電極、203…p側電極、204…赤色発光領域、205…緑色発光領域、207…青色発光領域。

【図1】

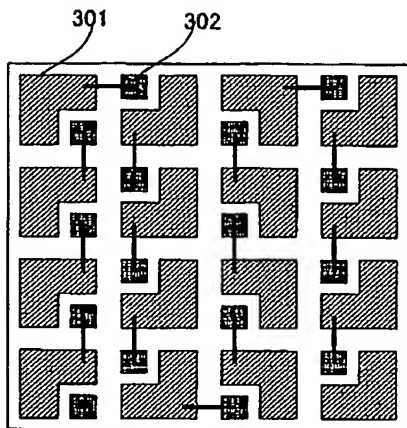


【図2】



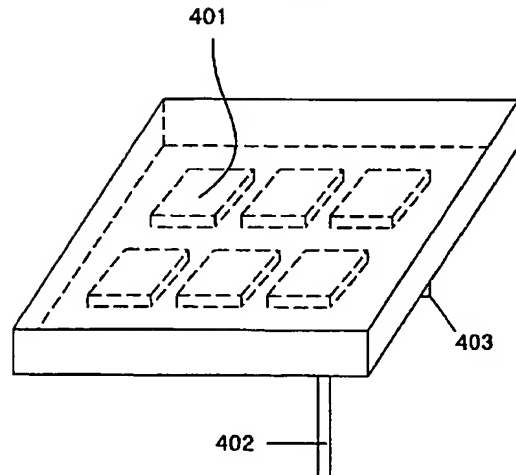
【図3】

図3



【図4】

図4



フロントページの続き

(72)発明者 内田 憲治  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 丹羽 敦子  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内  
Fターム(参考) 5F041 AA14 AA24 AA42 CA04 CA05  
CA13 CA34 CA40 CA46 CA57  
CA65 CB23 CB29 FF01 FF11